

ΙΓΜΕ

Δ/ση Τεχνικών Υπηρεσιών

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ
ΠΟΥ ΣΥΝΔΕΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ ΤΟΥ 1986:
ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΟ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Από Σ. Στείρο

Αθήνα, Ιούνιος 1988

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ
ΠΟΥ ΣΥΝΔΕΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ ΤΟΥ 1986:
ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΟ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Από Σ. Στείρα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σύγκριση προσεισμικών και μετασεισμικών χωροσταθμικών στοιχείων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι σεισμοί Καλαμάτας του 1986 συνδέονται με κλίση προς Νότον ενός τεκτονικού τεμάχους που το δυτικό του όριο είναι ρήγμα που διέρχεται από την πόλη της Καλαμάτας και περιλαμβάνεται μεταξύ των οδών προς Τρίπολη και Σπάρτη.

Το συμπέρασμα αυτό ενισχύεται από τεκτονικές παρατηρήσεις και την διάταξη πλειόσειστων και πλειόσειστων περιοχών, είναι κατ'αρχήν σύμφωνο με μηχανισμούς γένεσης του σεισμού όσον αφορά τη διεύθυνση του ρήγματος, και θεμελιώνει τους μηχανισμούς γένεσης στην επιλογή σαν σεισμικού του ρήγματος με κλίση προς Ανατολάς και όχι αυτού προς Δυσμάς, όπως καθορίζει προκαταρκτικός προσδιορισμός των υποκέντρων των μετασεισμών.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από το 1983 και σε συνεργασία με τη ΓΥΣ εφαρμόζονται και στην Ελλάδα συστηματικά γεωδαιτικές μέθοδοι μελέτης των παραμορφώσεων του εδάφους σεισμικά και τεκτονικά ενεργών περιοχών, όπως του Κορινθιακού Κόλπου, της Ηοκρίδας και της Βόλβης (Mariolakos and Stiros, 1984, 1987; Stiros and Rondogianni, 1985, Stiros 1986, 1988).

Βασική αρχή των γεωδαιτικών μελετών είναι η σύγκριση μετρήσεων αποστάσεων, γωνιών και υψομετρικών διαφορών (καθώς επίσης αστρονομικών αξιμουθίων, συντεταγμένων από μη γήινες γεωδαιτικές μετρήσεις, βαρυτομετρικών ενδείξεων κλπ) μεταξύ επιλεγμένων σημείων που θεωρείται ότι προσφέρουν πληροφορία σχετική με τεκτονικές κινήσεις.

Βέβαια, τα γεωδαιτικά στοιχεία παρέχουν πληροφορίες για μεταβολές στην επιφάνεια του εδάφους. Οι μεταβολές όμως αυτές, αφ'ενός κάτω από ωρισμένες προϋποθέσεις αντανακλούν και παρέχουν με τη σειρά τους πληροφορία για βαθύτερες, τεκτονικές κινήσεις που συνδέονται με τους σεισμούς, αφ'ετέρου οδηγούν στον εντοπισμό σεισμικών ρηγμάτων και περιοχών υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας (περιοχών με μεγάλες επιφανειακές παραμορφώσεις ή μεγάλη βαθμίδα επιφανειακής παραμόρφωσης).

Γεωδαιτικές μέθοδοι εφαρμόστηκαν και στην περίπτωση των σεισμών της Καλαμάτας του 1986, με στόχο τη μελέτη του πεδίου σεισμικών παραμορφώσεων, τόσο κατά την κατακόρυφη, όσο και κατά την οριζόντια έννοια. Η συμβολή της Γεωδαισίας στη μελέτη τόσο των μηχανισμών γένεσης των σεισμών όσο και της αντισεισμικής θωράκισης της πόλης της Καλαμάτας εκτιμήθηκε ότι θα είναι σημαντική, δεδομένου ότι οι σεισμοί του 1986 δεν συνδέθηκαν με καθαρό επιφανειακό ρήγμα, η

ύπαρξη του οποίου απλοποιεί την εργασία τόσο των μελετητών των μηχανισμών γένεσης των σεισμών, όσο και της αντισεισμικής προστασίας. Η συμβολή αυτή αναγνωρίστηκε και από τον ΟΑΣΠ που χρηματοδότησε μερικά τη μελέτη.

Η παρούσα αποτελεί έκθεση των εργασιών και των αποτελεσμάτων της χωροσταθμικής μελέτης, τα πρώτα συμπεράσματα της οποίας έχουν παρουσιαστεί σε πρόδρομη έκθεση (Σταίρος κ. ά., 1987). Σε επόμενες εργασίες που θα ακολουθήσουν τη συλλογή πρόσθετων στοιχείων υπαίθρου, θα εκτεθούν τα αποτελέσματα της μελέτης των παραμορφώσεων του εδάφους κατά την οριζόντια έννοια, καθώς επίσης στοιχείων του τανυστή παραμόρφωσης και του τύπου των διαρρήξεων (πχ. επίπεδο ή λιστρικό ρήγμα) με βάση την ελαστική θεωρία.

ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Αποκλειστικός στόχος της γεωδαιτικής μελέτης, τόσο όσον αφορά την αναγνώριση και μέτρηση οριζόντιων κινήσεων, όσο και των κατακόρυφων, υπήρξε ο υπολογισμός των σεισμικών παραμορφώσεων της ευρύτερης περιοχής Καλαμάτας από τη σύγκριση προσεισμικών στοιχείων του Εθνικού Γεωδαιτικού Δικτύου που είχε εγκατασταθεί και μετρηθεί το 1963 από τη ΓΥΣ και από μετρήσεις μετά τους σεισμούς που έγιναν με προσωπικό, μέσα και ευθύνη του ΙΓΜΕ.

Ειδικότερα τα συμπεράσματα σχετικά με τις κατακόρυφες κινήσεις προέρχονται από επαναμέτρηση χωροσταθμικού δικτύου μεγάλης ακριβείας της ΓΥΣ.

ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Το χωροσταθμικό δίκτυο του 1963 αποτελείται από δύο οδεύσεις που ακολουθούν τις οδικές αρτηρίες Τρίπολης -Καλαμάτας και Σπάρτης-

Καλαμάτας- Μάνης και συνδέονται από ένα τοπικό κλάδο στην πόλη της Καλαμάτας. Προκαταρκτική αναγνώριση έδειξε ότι σε ορισμένες περιοχές ικανός αριθμός παλαιών χωροσταθμικών σημείων είχε διασωθεί και επέτρεπε την επαναμέτρηση του παλαιού δικτύου (σχ. 1). Με βάση τη διαπίστωση αυτή σχεδιάστηκε η επιλεκτική επαναμέτρηση τμημάτων του χωροσταθμικού δικτύου με τα εξής κριτήρια:

- α) ελαχιστοποίηση των μετρουμένων αποστάσεων
- β) να μη μεσολαβούν μεγάλα κενά (πχ. άνω των 4 χλμ) χωρίς παλαιά χωροσταθμικά σημεία
- γ) τα επαναμετρούμενα τμήματα των οδύσεων να διαθέτουν ικανές συνιστώσες σε δύο κάθετους άξονες
- δ) να καλύπτεται διεύθυνση κάθετη προς τις όποιες εδαφικές διαρρήξεις, ή στην προέκτασή τους, εάν δεν είναι δυνατόν να διασχιζονται οι (δίες οι διαρρήξεις από τις χωροσταθμικές οδύσεις
- ε) να διαπερνάται τουλάχιστο μία φορά η πλειοτάσσειστη περιοχή, και τουλάχιστο ένας κλάδος οδύσεως να επεκτείνεται έξω από την πλειοτάσσειστη περιοχή, όπου κατά τεκμήριο οι εδαφικές διαρρήξεις μηδενίζονται
- στ) να διασχιζονται γεωλογικές ενότητες με διαφορετικά μηχανικά χαρακτηριστικά (από τεκτονική, λιθολογική κλπ. άποψη), και τέλος,
- ζ) τα χωροσταθμικά σημεία να έχουν καλή θεμελίωση, να είναι απαλλαγμένα από τοπικά εδαφικά προβλήματα (κατολισθήσεις, συμπίκνωση κλπ) και να είναι αντιπροσωπευτικά τόσο βαθύτερων διαδικασιών, όσο και ευρύτερων περιοχών.

Όπως διαπιστώνεται από τα σχ. 2 και 3 που παρουσιάζουν την κατανομή της πλειοτάσσειστης/ πλειοτάσσειστης περιοχής και απλοποιημένο το γεωλογικό χάρτη και την διάταξη των χωροσταθμικών σημείων, και όπως διαπιστώθηκε και από τις έρευνες υπαίθρου, τις πιο πάνω

προυποθέσεις ικανοποιούν οι δύο κλάδοι των οδεύσεων που εμφανίζονται στο σχήμα 1.

Ο πρώτος κλάδος (δυτικός) ακολουθεί την Εθνική Οδό Τρίπολης-Καλαμάτας από την περιοχή Απειά, βόρεια της Θουρίας (χωροσταθμικό σημείο 205) και καταλήγει στην πόλη της Καλαμάτας (σημείο 214). Ο δεύτερος κλάδος ακολουθεί την Οδό Σπάρτης-Καλαμάτας από τη θέση Κάτω Καρβέλι (σημείο 54), διέρχεται από την πόλη της Καλαμάτας και συνεχίζει προς Νότο, προς τη Μάνη, και καταλήγει στην περιοχή Αρμυρής (αφετηρία 106). Παρότι οι δύο κλάδοι αρχικά ήταν συνδεδεμένοι μεταξύ τους, όπως ήδη αναφέρθηκε, υπήρχαν κάποια προβλήματα στην σύνδεση των δύο παλαιών οδεύσεων του 1963, και για να αποφευχθούν σφάλματα θεωρήθηκαν σαν δύο ανεξάρτητοι κλάδοι.

ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ-ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Οι χωροσταθμικές μετρήσεις εκτελέστηκαν στο διάστημα 20/10/86 έως 15/11/86 και από 27/5/87 μέχρι 5/6/87 με βάση τυποποιημένες προδιαγραφές εργασιών υπαίθρου του ΙΓΜΕ για ανάλογες εργασίες που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Οι προδιαγραφές αυτές επιτρέπουν ακρίβεια 1.3 mm/√km, ενώ οι μετρήσεις της ΓΥΣ έχουν αντίστοιχη ακρίβεια 0.5mm/√km. Δεδομένου ότι οι δύο περίοδοι μετρήσεων θεωρούνται αουσχέτιστοι μεταξύ τους, η ατυπική ακρίβεια της υπολογιζόμενης υψομετρικής διαφοράς είναι της τάξης των 1.4 mm/√km (ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων). Για όδευση μήκους 10 χλμ, όπως αυτές της Καλαμάτας, το εκτιμώμενο τυπικό σφάλμα της μεταβολής του μακρύτερου σημείου ως προς την αφετηρία των μετρήσεων είναι 4.5 mm, ή 10 mm για επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, υψηλή ακρίβεια παρέιχαν μόνο τα τμήματα

των δύο οδεύσεων, και όχι η μεταξύ τους σύνδεση, και για το λόγο αυτό τα δύο τμήματα θεωρήθηκαν ανεξάρτητα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στά σχήματα 4 και 5 παρουσιάζονται διαγραμματικά τα αποτελέσματα των υπολογισμών της μεταβολής των υψομέτρων των σωζόμενων χωροσταθμικών σημείων των δύο κλάδων μεταξύ των ετών 1963 και 1986/87. Οι μεταβολές υψομέτρων έχουν υπολογιστεί σε σχέση με τα βορειότερα άκρα των δύο κλάδων των δύο ανεξάρτητων οδεύσεων (σημεία 205 και 54) αντίστοιχα. Από τα διαγράμματα αυτά καθίσταται σαφές ότι οι δύο κλάδοι παρουσιάζουν χαρακτηριστικά διαφορετική εικόνα.

Ο δυτικός κλάδος παρουσιάζει μόνο τοπικές και μικρής κλίμακας διακυμάνσεις στη μεταβολή του αναγλύφου, τάξεως 10 mm. Οι μεταβολές αυτές δεν υπερβαίνουν την αβεβαιότητα των μετρήσεων για επίπεδο σημαντικότητας 95%, (αβεβαιότητα 1.3 mm/√km επί 2.45 (για 95% πιθανότητα) επί √5.3 √km απόσταση από την αφετηρία των μετρήσεων.

Ο ανατολικός κλάδος αντίθετα, παρουσιάζει μικρής κλίμακας, τοπικές διακυμάνσεις στη μεταβολή των υψομέτρων, αλλά και μια συστηματική μεταβολή, σχετική ταπείνωση του αναγλύφου προς Νότο. Και οι μόν τοπικές διακυμάνσεις (κυρίως του σημείου 219) έχουν (δίο εύρος με αυτές που παρατηρούνται στους άλλους κλάδους (περίπου 10 mm) και βρίσκονται μέσα στα όρια αβεβαιότητας, η παρατηρούμενη όμως συνεχής και συστηματική κλίση (tilting) είναι στατιστικά σημαντική, αφού η αβεβαιότητα μεταβολής του υψομέτρου του μακρύτερου σημείου από την αφετηρία των μετρήσεων (σημεία 106 και 54 αντίστοιχα) σε επίπεδο σημαντικότητας 95% είναι 13 mm ($2.45 \times 1.4 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}} \times \sqrt{16 \text{ km}}$), σημαντικά μικρότερη από την παρατηρούμενη μεταβολή των υψομέτρων,

(70 mm).

Συνεπώς, οι παρατηρούμενες μεταβολές υψομέτρων είναι στατιστικά σημαντικές έναντι τυχαίων σφαλμάτων μόνο στον ανατολικό κλάδο. Οι παρατηρούμενες μεταβολές των υψομέτρων φαίνεται ότι είναι απηλλαγμένες και από συστηματικά σφάλματα που συνήθως επιρρεάζουν τα χωροσταθμικά στοιχεία. Στο συμπέρασμα αυτό μπορεί να οδηγηθεί κανένας από την εξέταση των εξής στοιχείων. Πρώτον, οι προδιαγραφές μετρήσεων, και ιδιαίτερα η μέριμνα οι οπισθοσκοπεύσεις να μην υπερβαίνουν σημαντικά τις εμπροσθοσκοπεύσεις (βλ. Πίνακα 1) καθιστούν ελάχιστα τα σφάλματα λόγω διάθλασης. Δεύτερο, η έλλειψη συσχέτισης μεταξύ καμπύλων μεταβολής αναγλύφου και αναγλύφου κατά μήκος των χωροσταθμικών οδεύσεων (βλ. σχ. 4 και 5) είναι επίσης ένδειξη ότι οι χωροσταθμίσεις είναι απαλλαγμένες από συστηματικά σφάλματα (παρ. Strange, 1981). Τέλος, τρίτον, τα μικρά μήκη των οδεύσεων καθιστούν αμελητέα την πιθανότητα οι παρατηρούμενες μεταβολές υψομέτρων να αντανακλούν συσσωρευτικά σφάλματα βαθμονόμησης των σταθμών κλπ.

Εν πάσει περιπτώσει, και εαν τέτοια μικρά συστηματικά σφάλματα υπάρχουν, είναι δύσκολο να δεχτεί κανείς ότι θίγουν βασικά τον ένα κλάδο των χωροσταθμίσεων αφ'ενός, και ότι η τιμή τους πλησιάζει το μέγεθος της παρατηρούμενης μεταβολής υψομέτρων, περίπου επταπλάσια της τιμής των τυχαίων σφαλμάτων σε επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Για τους λόγους αυτούς θεωρούμε ότι από μετρολογική άποψη στον δυτικό κλάδο δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική μεταβολή υψομέτρων, ενώ αντίθετα στον ανατολικό κλάδο παρατηρείται μια σχετική, βαθμιαία ταπείνωση του αναγλύφου εύρους 70 mm περίπου.

ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της χωροσταθμικής μελέτης πρέπει να ληφθούν υπόψη τα εξής στοιχεία:

α) και οι δύο κλάδοι των οδεύσεων διέρχονται από διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς, με διαφορετικά μηχανικά χαρακτηριστικά: αλλοσύβια, πλειστοκαινικά και πλειοκαινικά ιζήματα, φλύσχη και Ηωκαινικούς έως Τριαδικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες. Οι παρατηρούμενες μεταβολές, ή η έλλειψη μεταβολών των υψομέτρων των σημείων αναφοράς δεν συσχετίζονται ούτε περιορίζονται σε κάποιον από τους σχηματισμούς αυτούς, αλλά επεκτείνονται σε όλους αυτούς τους σχηματισμούς (σχ. 3).

Επί πλέον, οι συνθήκες θεμελίωσης των χωροσταθμικών σημείων είναι, γενικά μιλώντας, περίπου ίδιες και για τους δύο κλάδους, ενώ δεν έγιναν αντιληπτές εμφανίσεις τοπικής αστάθειας των εδαφών.

Συνεπώς, τα χωροσταθμικά στοιχεία φαίνεται ότι αντανακλούν βαθύτερες και γενικότερες παραμορφώσεις του φλοιού.

β) στο διάστημα μεταξύ 1963 και 1986/7 που μεσολάβησε ανάμεσα στις δύο μετρήσεις δεν έλαβε χώρα καμμία σημαντική σεισμική ή άλλη παραμόρφωση του εδάφους, ούτε έχει θιγεί η περιοχή από κάποιον άλλο σεισμό εκτός εκείνου του 1986 (Μαριολάκος κ.ά., 1986, Μουγιάρης και Ελευθερίου 1986).

Για το λόγο αυτό οι τυχόν παρατηρούμενες μεταβολές υψομέτρων φαίνεται ότι σχετίζονται αποκλειστικά με τη σεισμική ακολουθία του 1986.

γ) από τα μακροσεισμικά στοιχεία καθίσταται σαφές ότι ο δυτικός κλάδος της χωροστάθμισης βρίσκεται βασικά έξω από την πλειοσειστική και πλειόσειστη περιοχή (σχ. 2) και για το λόγο αυτό δεν αναμένεται να έχει επηρεαστεί από τη σεισμική θράση, ούτε αναμένονται και

αειόλογες μεταβολές του αναγλύφου κατά μήκος αυτού του κλάδου. Αντίθετα, ο ανατολικός κλάδος βρίσκεται σχεδόν εξ ολοκλήρου, μέσα στην πλειστόσειστη περιοχή, οπότε δεν αποκλείονται και παραμορφώσεις του αναγλύφου που θα αντανakλώνται σε μεταβολές των υψομέτρων των χωροσταθμικών στοιχείων.

Οι προβλέψεις αυτές, επιβεβαιώνονται, όπως έχει ήδη αναλυθεί, από τη μελέτη του χωροσταθμικού δικτύου που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι παραμορφώσεις του φλοιού που συνδέονται με τους σεισμούς του 1986 περιορίζονται στην πλειστόσειστη περιοχή και σε γενικές γραμμές μπορούν να περιγραφούν σαν κλίση προς Νότο του ορεινού όγκου ΒΑ, Α και Ν της Καλαμάτας.

ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Η διάκριση δύο περιοχών, μίας χωρίς και μίας με σημαντικές τεκτονικές παραμορφώσεις οδηγεί στα εξής συμπεράσματα:

α) ένα βαθύ ρήγμα που εντοπίζεται ανάμεσα στους δύο κλάδους της χωροστάθμισης (δηλαδή ανάμεσα στους δρόμους προς Σπάρτη και προς Τριπολη) και διέρχεται από την πόλη της Καλαμάτας ανέδρασε κατά τη διάρκεια των σεισμών του 1986.

β) το ανατολικό τέμαχος παρουσιάζει καθαρή κλίση προς Νότο. Πρόκειται δηλαδή για ρήγμα μεταβλητού άλματος.

γ) το ρήγμα αυτό δεν εμφανίζεται στην επιφάνεια. Οι παρατηρούμενες μικροδιαρρήξεις (Μαρισλάκος κ. ά. 1986, Μουγιάρης και Ελευθερίου, 1986) δεν αποτελούν άμεση έκφραση του βαθειού σεισμικού ρήγματος, όπως έχουν προτείνει διάφοροι ερευνητές (πχ. Armijs και Lyon-Caen, 1988), αλλά δεύτερης τάξης δομές.

Στο σχήμα 6 δίνεται μια ερμηνεία αυτής της παραμόρφωσης. Η ερμηνεία αυτή (κανονικό ρήγμα μεταβλητού άλματος) δεν είναι

μονοσήμαντη, γιατί θα μπορούσε η παρατηρούμενη κλίση να είναι όχι αποτέλεσμα βύθισης του νότιου μέρους του ανατολικού τεμάχου του ρήγματος, αλλά αντίθετα, ανύψωσης του βόρειου μέρους του ίδιου τεμάχου.

Σαφής απάντηση στο πρόβλημα αυτό μπορεί να δοθεί μόνο από πρόσθετα στοιχεία, πχ. γεωδαιτικά (τριγωνομετρικά) η επεξεργασία των οποίων δεν έχει τελειώσει ακόμη, ούτε άλλωστε μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια η διεύθυνση του ρήγματος.

Πάντως, υπάρχουν στοιχεία που συνηγορούν προς την άποψη ότι η παραμόρφωση συνδέεται με ρήγμα διεύθυνσης περίπου ΒΑ με κατερχόμενο το ανατολικό τέμαχος:

α) η πλειστοσειστική περιοχή είναι επιμήκης και προσανατολισμένη ΒΑ και συμπίπτει με τη σημαντική ρηξιγενή ζώνη του Νέδοντα. Ο ρηξιγενής χαρακτήρας της ζώνης αυτής διαφαίνεται τόσο από γεωλογικά και γεωμορφολογικά κριτήρια (Μαρισλάκος κ. ά., 1986) όσο και από την ερμηνεία αερομαγνητικών στοιχείων (σχ. 2).

β) σύμφωνα με πληροφορίες των Μουγιάρη και Ελευθερίου (1986) και παλαιότερη σεισμική δόνηση είχε συνδεθεί με ενίσχυση της σεισμικής έντασης στην Καλαμάτα και το Ελαιοχώρι (όπου και παρατηρήθηκε σεισμική μικροδιάρρηξη) που βρίσκονται σε διεύθυνση περίπου ΝΔ-ΒΑ.

γ) Ο εντοπισμός της πλειστοσειστικής περιοχής στο τμήμα δυτικά της Καλαμάτας μπορεί να σημαίνει ότι η περιοχή αυτή είναι και το κατερχόμενο τέμαχος ρήγματος (hanging wall), δεδομένου ότι το τέμαχος αυτό παραμορφώνεται εσωτερικά, και μπορεί να φιλοξενεί την πλειστοσειστική περιοχή.

δ) Η ρηξιγενής ζώνη του Νέδα φαίνεται ότι αποτελεί και το όριο ανάμεσα σε δύο ορεινούς όγκους, που όπως παρατήρησε ο Μαρισλάκος (προφ. επικ.) παρουσιάζουν διαφορετική βαθμίδα αναγλύφου: Όπως

φαίνεται από το σχ. 7, ο ορεινός όγκος Βόρεια της Καλαμάτας παρουσιάζει πολύ ήπιες κλίσεις σε σχέση με αυτές του Καλαθίου όρους. Σαν νότιο όριο του τεμάχου αυτού φαίνεται ότι είναι η περιοχή μεταξύ Στούπας και Καρδαμύλης, όπου παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές των ρυθμών σχετικής ανύψωσης της στάθμης της θάλασσας, όπως προκύπτει από στοιχεία των Fleming et al., (1973) και από προκαταρκτική μελέτη μεταβολών στάθμης θάλασσας με βάση αρχαιολογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία που συνελλέγησαν σε συνεργασία με την αρχαιολόγο Σ. Παπαγεωργίου.

Συνεπώς, δεν αποκλείεται η συσχέτιση βαθμίδας αναγλύφου και βαθμίδας σεισμικής μεταβολής του αναγλύφου που παρατηρείται ΝΑ της ζώνης Νέδοντα να υποδηλώνει ότι οι σεισμοί του 1986 αποτελούν ένα από τα γεγονότα που συσσωρευτικά δημιούργησαν την γεωμορφολογική εικόνα που αναφέρθηκε πιο πάνω. Με την έννοια αυτή, οι σεισμοί του 1986 μπορεί να αποτελούν μίμηση μακροχρόνιων διαδικασιών, όπως έχει διαπιστωθεί σε διάφορα σεισμικά γεγονότα.

ΣΕΙΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η ερμηνεία που δόθηκε πιο πάνω, παρότι φαίνεται αρκετά πιθανή, δεν είναι μοναδική, γιατί η παραμόρφωση που συνάγεται από τα γεωδαιτικά στοιχεία μπορεί να ερμηνευτεί και με διάφορα άλλα τεκτονικά μοντέλλα. Για παράδειγμα, μπορεί κάλλιστα να συνδέεται με κανονικό ρήγμα μεταβλητού άλματος (hinge fault) διεύθυνσης Β-Ν. Η διεύθυνση αυτή δεν είναι άγνωστη σε σεισμικές μικροδιαρρήξεις στην περιοχή, όπως αυτές της Πελεκανάδας και Μηλιώτη (σχ. 2) που συνδέθηκαν με το σεισμό της 9 Οκτωβρίου 1984 της Πύλας (Ελευθερίου και Σοφίας, 1984).

Μια τέτοια ερμηνεία συμφωνεί με τους μηχανισμούς γένεσης του

σεισμού που σε γενικές γραμμές παρέχουν ένδειξη ρήγματος διεύθυνσης περίπου Β-Ν. Σαν επίπεδα του ρήγματος στους μηχανισμούς αυτούς έχουν προτιμηθεί αυτά με κλίση προς δυσμάς, βασικά λόγω της κατανομής των υποκέντρων των μετασεισμών. (Delibassis et al., 1987; Armiijo και Lyon Caen, 1988). Η υπόθεση αυτή όμως προσκρούει στο γεγονός ότι εάν το κατερχόμενο τέμαχος ήταν το δυτικό, θα έπρεπε λόγω αναμενόμενης εσωτερικής του παραμόρφωσης να φιλοξενεί και την πλειόσειστη περιοχή, πράγμα που έρχεται σε σαφή αντίθεση με τις παρατηρήσεις (σχ. 2). Για το λόγο αυτό προτείνεται ότι στους μηχανισμούς γένεσης πρέπει να προτιμηθεί σαν σεισμικό το ρήγμα με κλίση προς ανατολάς.

Υπάρχει ακόμα μικρή πιθανότητα η παραμόρφωση να συνδέεται και με κανονικό ρήγμα άλλης διεύθυνσης με μεταβλητό άλμα κατά το μήκος του (πχ. Stein και Barrientos, 1985), που να βρίσκεται νότια, στο θαλάσσιο χώρο. Σε τέτοια περίπτωση, η κατανομή της πλειόσειστης επιφάνειας να εκφράζει την ανάληψη της παραμόρφωσης (εφελκυσμό Β-Ν) από προϋπάρχοντα ρήγματα διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ. Η ερμηνεία όμως αυτή προσκρούει στα σεισμολογικά στοιχεία που παρουσιάζουν σχετικά σαφώς προσδιορισμένη διεύθυνση σεισμικών ρηγμάτων περίπου Β-Ν.

Μια τρίτη, αρκετά πιθανή λύση είναι η παραμόρφωση να συνδέεται με ρήγμα με σημαντική αριστερόστροφη οριζόντια ολίσθηση, πολύ περισσότερη από αυτήν που εμφανίζει ο μηχανισμός γένεσης πχ, των Delibassis et al., (1987). Στην περίπτωση αυτή οι παρατηρηθείσες παραμορφώσεις του φλοιού που συνάγονται από τα γεωδαιτικά στοιχεία μπορούν να ερμηνευτούν με το πρότυπο του Holdahl (1986) που εμφανίζεται στο σχ. 8. Η ερμηνεία αυτή συμφωνεί με τη διαπίστωση των Armiijo και Lyon-Caen (1988) ότι μια ζώνη en echelon διατεταγμένων ρηγμάτων, διεύθυνσης περίπου ΒΒΔ που φαίνονται σε

φωτογραφίες SPOT και LANDSAT ανέδρασαν κατά τους σεισμούς του 1986. Οι ερμηνείες βέβαια αυτές είναι προς το παρόν υποθετικές. Δεπτομερέστερες τεκτονικές αναλύσεις και υπολογισμοί των μηχανισμών γένεσης των σεισμών, ολοκλήρωση της μελέτης των κατακόρυφων και οριζόντιων παραμορφώσεων με βάσει γεωδαιτικά στοιχεία και μεταβολές της στάθμης της θάλασσας με αρχαιολογικές και γεωμορφολογικές παρατηρήσεις που γίνονται σε συνεργασία με την αρχαιολόγο Σ. Παπαγεωργίου, και τέλος προσομοίωση της παραμόρφωσης με βάση τα στοιχεία αυτά και ελαστικό μοντέλλο συσσεισμικής παραμόρφωσης, πιστεύεται πως θα οδηγήσουν στην κατανόηση του μηχανισμού του σεισμού του 1986, καθώς και άλλων μελλοντικών σεισμών.

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ

Η μελέτη αυτή χρηματοδοτήθηκε μερικά από τον ΟΑΣΠ. Στην εκτέλεση της, εκτός από τους Τοπογράφους του ΙΓΜΕ Α. Χασάπη, υπεύθυνο των εργασιών υπαίθρου, και Β. Χασάπη που εκτέλεσαν όλη την εργασία πεδίου και μέρος της εργασίας γραφείου, καθώς και την αρχαιολόγο Σ. Παπαγεωργίου που συνεργάστηκε στον υπολογισμό των μεταβολών στάθμης από αρχαιολογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία, στην επεξεργασία των στοιχείων υπαίθρου συνεργάστηκε και η φοιτήτρια ΕΜΠ- τοπογράφος και υπάλληλος του ΙΓΜΕ Χ. Καραγιάννη. Η μελέτη αυτή αποτελεί συμβολή του Έργου "Μελέτη σύγχρονου Γεωδυναμικού καθεστώτος Ελλαδικού χώρου", Έργο ΔΕ- 8661704- ΙΓΜΕ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Armijo, R. και Lyon Caen, H., 1988, Observations on the 1986 Kalamata earthquake: new insights on the Quaternary extensional tectonics oblique to the Hellenic arc, Abstract, The structural and sedimentary evolution of the Neogene Aegean basin, London, April 5-6, 1988.
- Delibassis, N., Drakopoulos, J. και Stavrakakis, G., 1987, The Kalamata (southern Greece) earthquake of 13 September 1986., Annales Geophysicae, 58, 731-734.
- Ελευθερίου, Α. και Σοφίας Γ., Έκθεση μακροσεισμικής εξέτασης στη περιοχή Πυλίας Μεσσηνίας, Σεισμός 9-10-1984, Αθηροσέυτη Έκθεση ΙΓΜΕ 4207.
- Flemming, N., Czartoryska, N., και Hunter, P., 1973, Eustatic and tectonic components of relative sea-level change, στο: Marine Archaeaeology, D. Blackman (εκδότης).
- Holdahl, S. 1986, Readjustment of leveling networks to account for vertical co-seismic motions, Tectonophysics, 130, 195-212.
- Μαριολάκος, Ι., Σαμπώ, Β., Αλεξόπουλος, Α., Δανάμος, Γ., Λέκκας, Ε., Λογός, Ε., Λόζιος, Σ., Μερτζάνης, Α. και Φουντούλης, Γ., 1986, Μικροζωνική μελέτη Καλαμάτας, Προκαταρκτική Μελέτη, Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, Αθήνα.
- Mariolakos I. Stiros, S., 1984, An assessment of the reliability of a proposed deformation pattern associated with the Corinthiakos 1981 earthquakes from geodetic data, Bull. INQUA Neotectonics Commission, 7, 20-27.
- Mariolakos I. and Stiros, S., 1987, Quaternary deformation of the Isthmus and Gulf of Corinthos (Greece), Geology, 15, 225-228.

Μέμου Τ. και Σκιάνης, Γ., 1988, Συμβολή στην ερμηνεία αερομαγνητικών δεδομένων Ν.Α. Πελοποννήσου, Αθηνά (επιτη Εκθεση ΙΓΜΕ).

Μουγιάρης, Ν. και Ελευθερίου Α., 1986, Μακροσεισμικές παρατηρήσεις στη περιοχή Καλαμάτας, Σεισμοί 13ης και 15ης Σεπτ. 1986, Αθηνά (επιτη Εκθεση ΙΓΜΕ 4993).

Στείρος, Σ., Χασάπης, Α. και Χασάπης Β., 1987, Μελέτη του πεδίου παραμορφώσεων των σεισμών Καλαμάτας 1986 με βάση γεωδαιτικά στοιχεία. Προκαταρκτική Εκθεση του Προγράμματος. Αθηνά (επιτη Εκθεση ΙΓΜΕ).

Stein R. and Barrientos, S., 1985, The 1983 Borah Peak, Idaho, earthquakes, geodetic evidence for deep rupture on a planar fault, USGS Open file report, 85-290, 459-484.

Stiros, S., 1986, Geodetically controlled taphrogenesis in back-arc environments: Three examples from Central and Northern Greece, Tectonophysics, 130, 281-288.

Stiros S. and Rondogianni, T., 1985, Vertical recent movements along the Atalandi fault-zone (Central Greece), Pageoph., 123, 837-848.

Strange, W., 1981, The impact of refraction correction on leveling interpretations in Southern California, J. Geophys. Res., 86, 2809-2824.

Πίνακας 1

Προδιαγραφές χωροσταθμικών εργασιών ΙΓΜΕ για σεισμοτεκτονική έρευνα
(από Stiros & Rondogianni [1985])

Όργανα	Γεωδαιτικές χωροβάτες Σταθίες Invar, με βάση και αντιρρίδες
Μέτρηση	Σε δύο κατευθύνσεις
Μήκος τμήματος (s)	0.6-1.3 km
Μέσο μήκος σκόπευσης	30m
Μακ μήκος σκόπευσης	70m
Μακ διαφορά σκόπευσης εμπρός-πίσω	10m
Αθροιστικά	10m
Μακ διαφορά κλεισίματος	8-15 mm
Ακρίβεια	1.3-15 mm

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχ. 1

Διάγραμμα θέσης των χωροσταθμικών οδεύσεων και σημείων του 1963 (τετράγωνα) που επαναμετρήθηκαν μετά τους σεισμούς του 1986.

Σχ. 2.

Χωροσταθμικές οδεύσεις στις οποίες βασίζεται η παρούσα μελέτη, διάταξη πλειστόσειστης και πλειόσειστης περιοχής κατά Μουγιάρη και Ελευθερίου (1986) και ρήγματα που προκύπτουν από ερμηνεία αερομαγνητικών (από Μέμου και Σκιάνη, 1988).

Σχ. 3.

Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας (με βάση τα φ.χ. 1:50000 Καλαμάτα και Κορθαρούλη, έκδοση ΙΓΜΕ) και θέση χωροσταθμικών σημείων.

Σχ. 4.

Μεταβολές υψομέτρων των χωροσταθμικών αφετηριών του ανατολικού κλάδου (οδός Αλαγωνίας-Καλαμάτας-Μάνης) μεταξύ 1963 και 1986/7, και το ανάγλυφο κατά μήκος της οδού. Σαν σημείο αναφοράς πάρθηκε η αφετηρία 106.

Σχ. 5

Μεταβολές υψομέτρων των χωροσταθμικών αφετηριών του δυτικού κλάδου (οδός Τρίπολης-Καλαμάτας) μεταξύ 1963 και 1986/7, και το ανάγλυφο κατά μήκος της οδού. Σαν σημείο αναφοράς πάρθηκε η αφετηρία 205.

Σχ. 6.

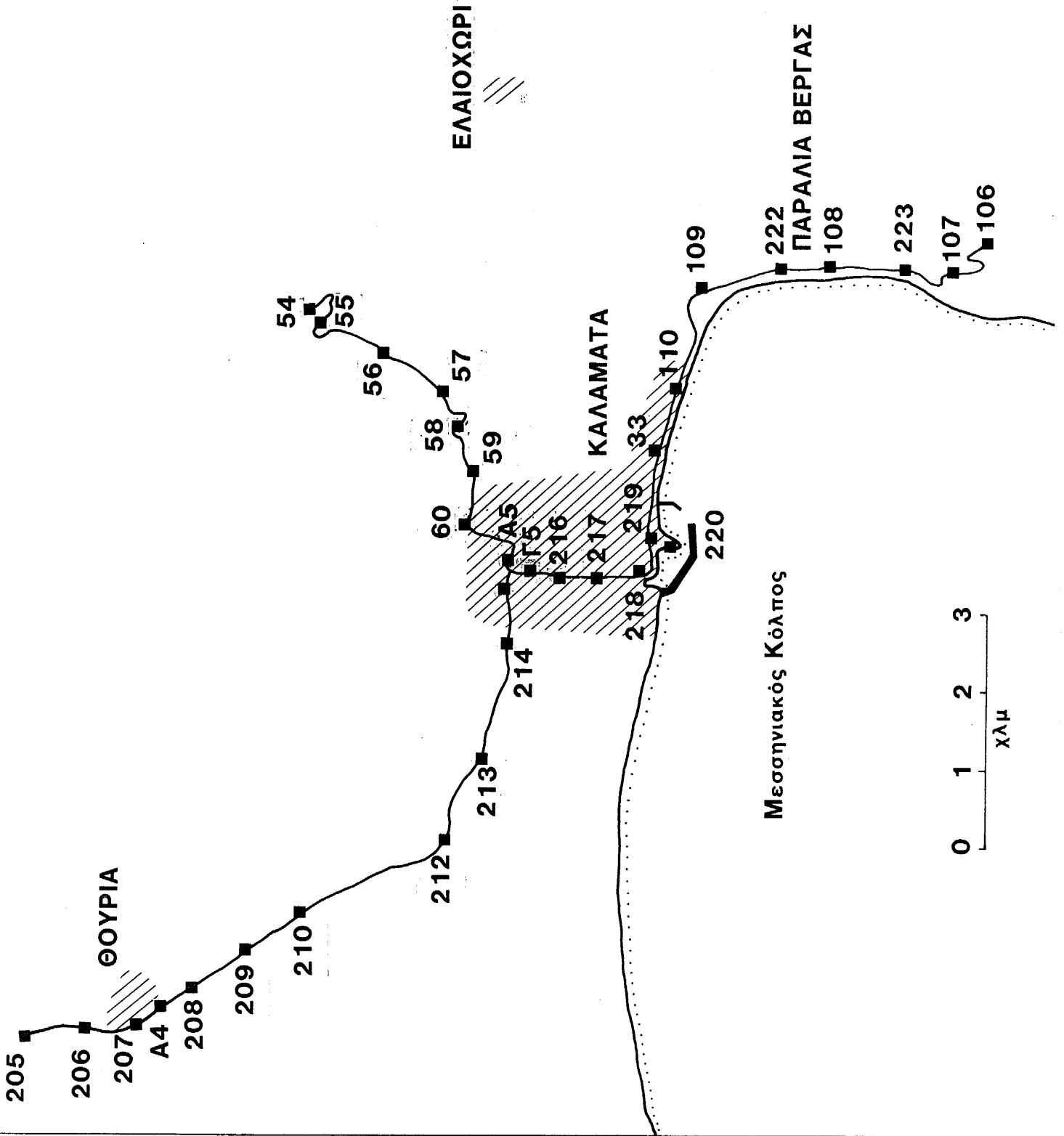
Σκαρίφημα της σεισμικής παραμόρφωσης του στερεού φλοιού της γης που συνδέεται με τους σεισμούς της Καλαμάτας του 1986, όπως διαφαίνεται από τις μεταβολές υψομέτρων που παρατηρούνται στους δύο χωροσταθμικούς κλάδους, δυτικό (Α) και ανατολικό (Β). Η ερμηνεία αυτή δεν είναι μονοσήμαντη, φαίνεται όμως η πιθανότερη. Λεπτομέρειες στο κείμενο.

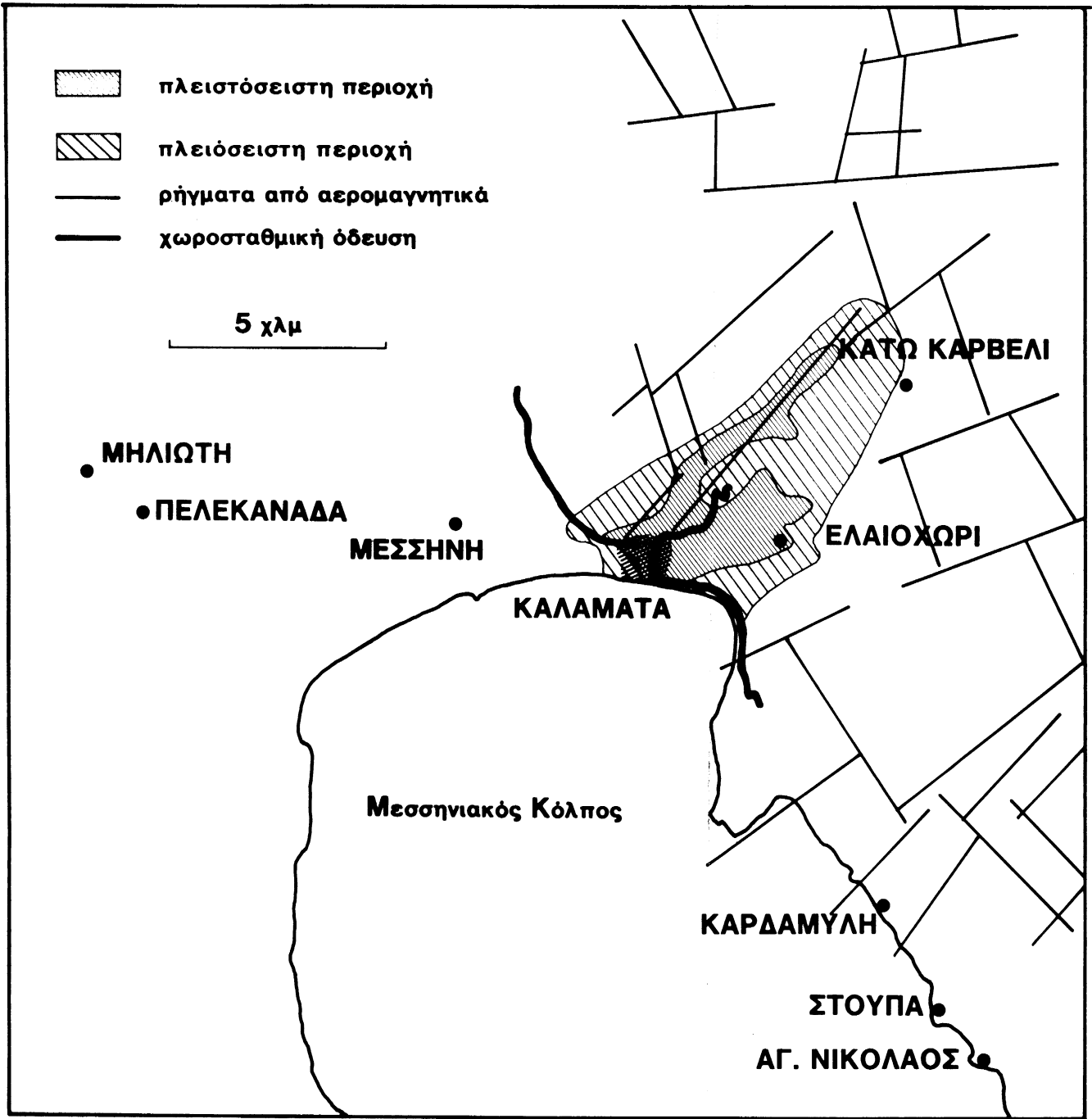
Σχ. 7.

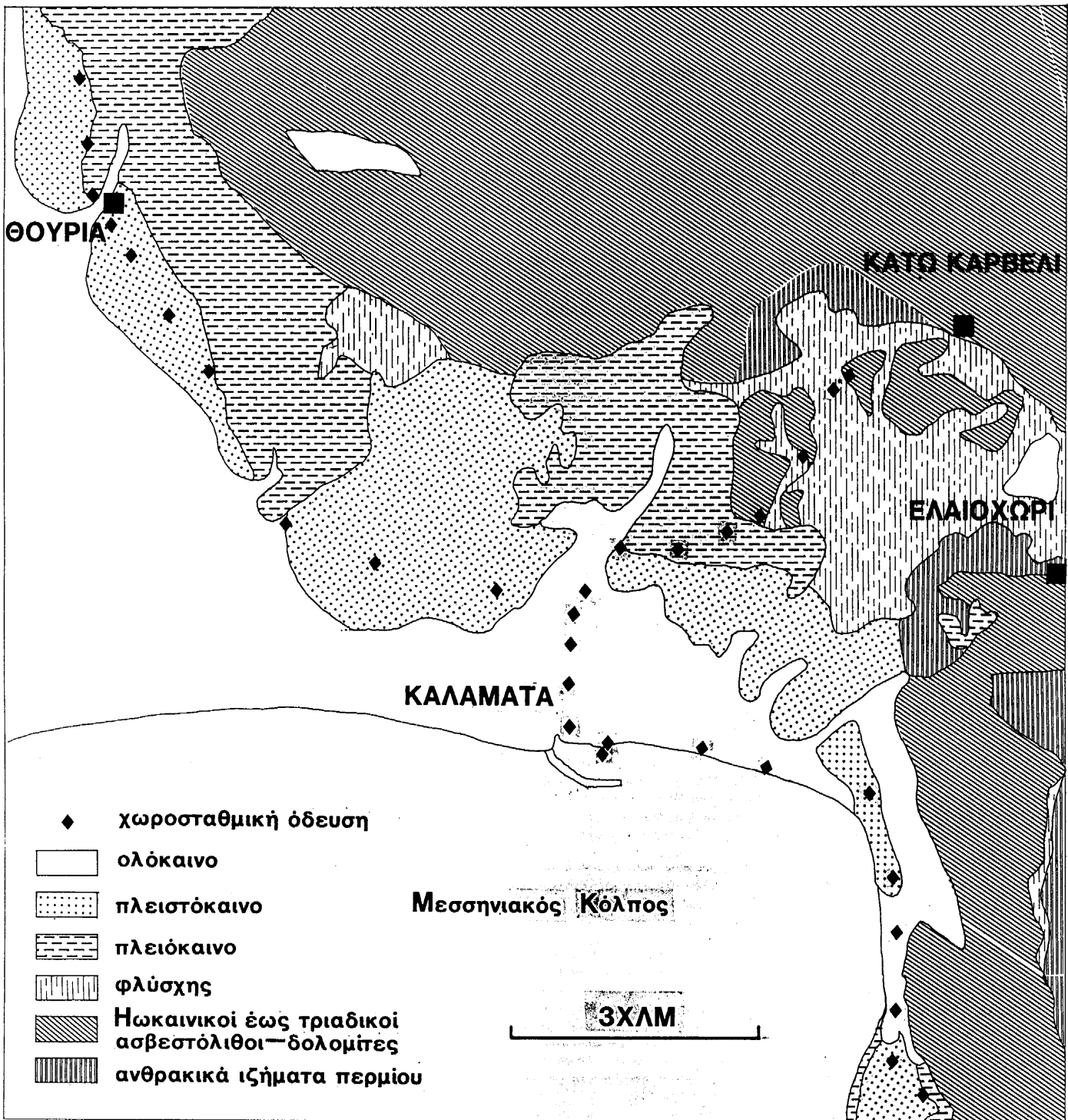
Διαφορά στη βαθμίδα του αναγλύφου στη γειτονία των δύο χωροσταθμικών οδεύσεων, κατά μήκος δύο επιλεγμένων τομών. Η ερμηνεία που μπορεί να δοθεί στην παρατηρούμενη συσχέτιση ανάμεσα στη μεγάλη βαθμίδα αναγλύφου και βαθμίδα μεταβολής αναγλύφου στον ανατολικό κλάδο (σχ. 4) σε σχέση με τον δυτικό κλάδο (σχ. 5) είναι ότι η σεισμική ακολουθία του 1986 εκφράζει συνέχιση διαδικασιών που ωδήγησαν στην σημερινή γεωμορφολογική εικόνα.

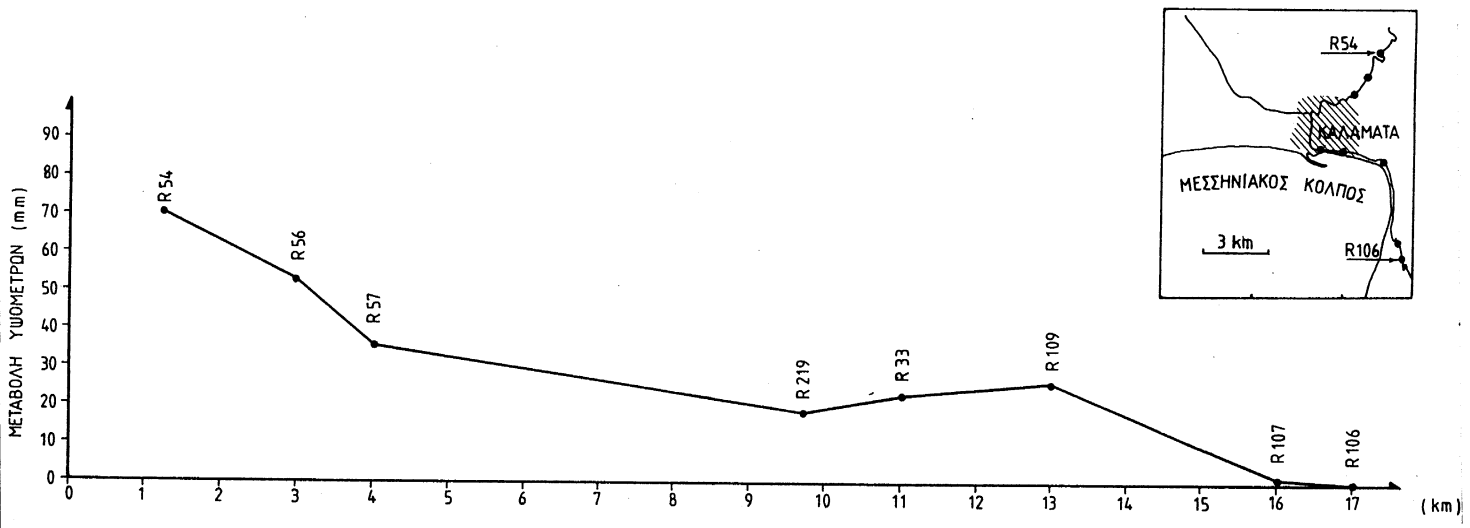
Σχ. 8.

Μοντέλλο του Hoidal (1986) για τη δημιουργία κλίσεως στο ανάγλυφο από οριζόντια διατμητική κίνηση ρήγματος.

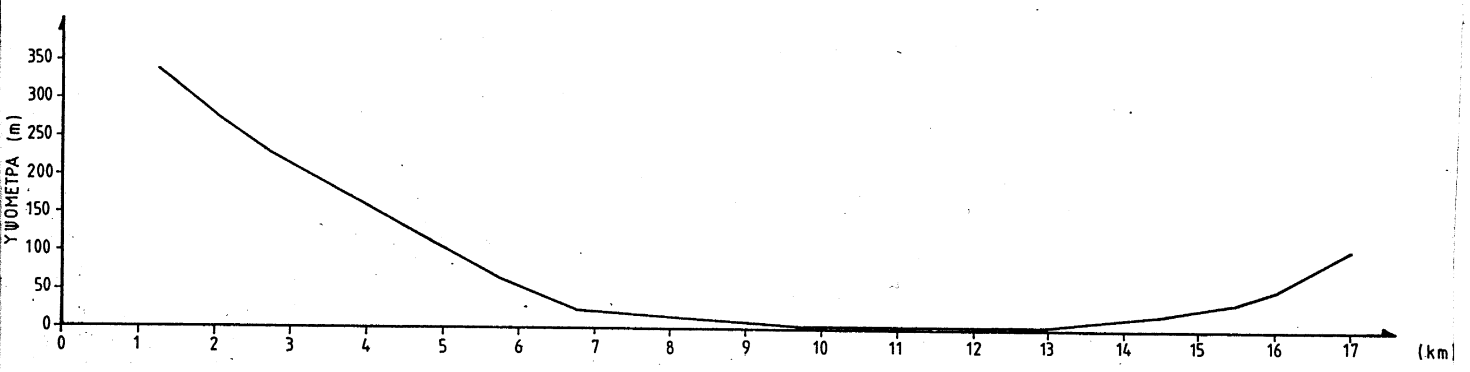




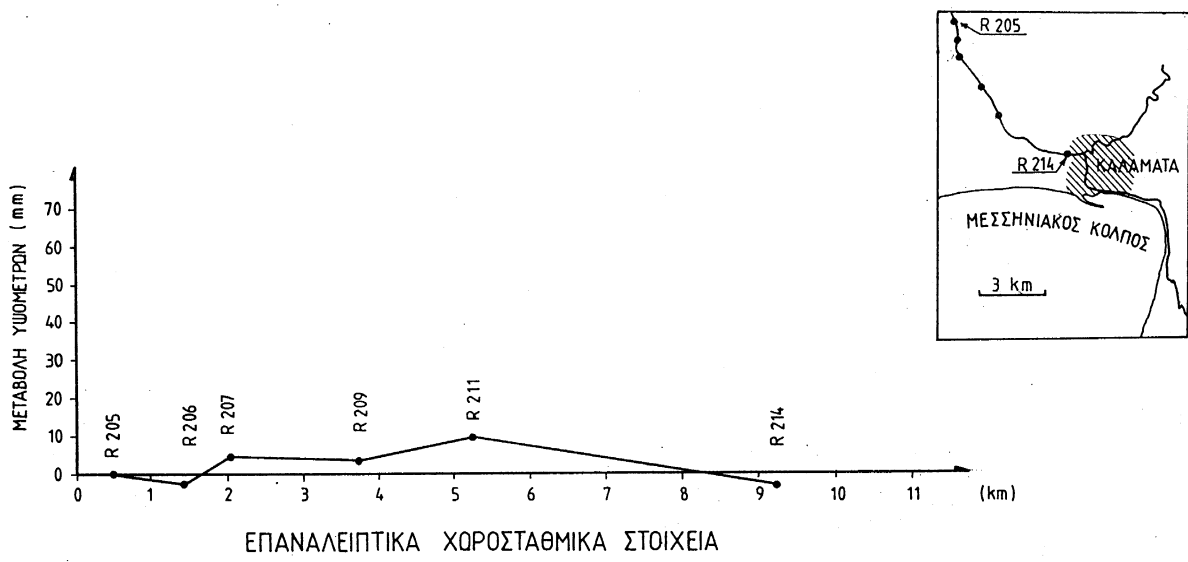




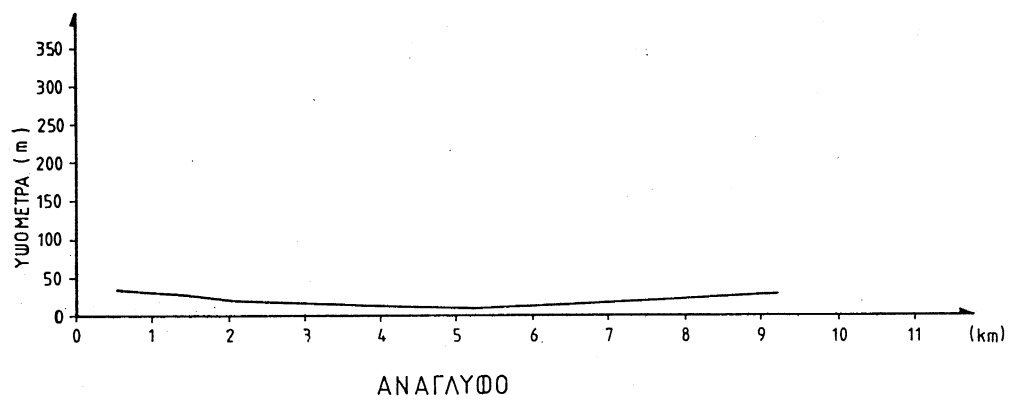
ΕΠΑΝΑΛΕΙΠΤΙΚΑ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



ΑΝΑΓΛΥΦΟ

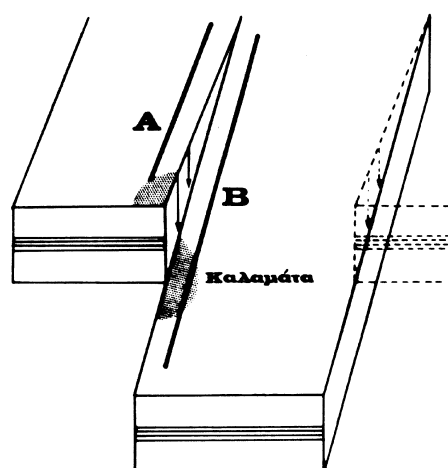


ΕΠΑΝΑΛΕΙΠΤΙΚΑ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

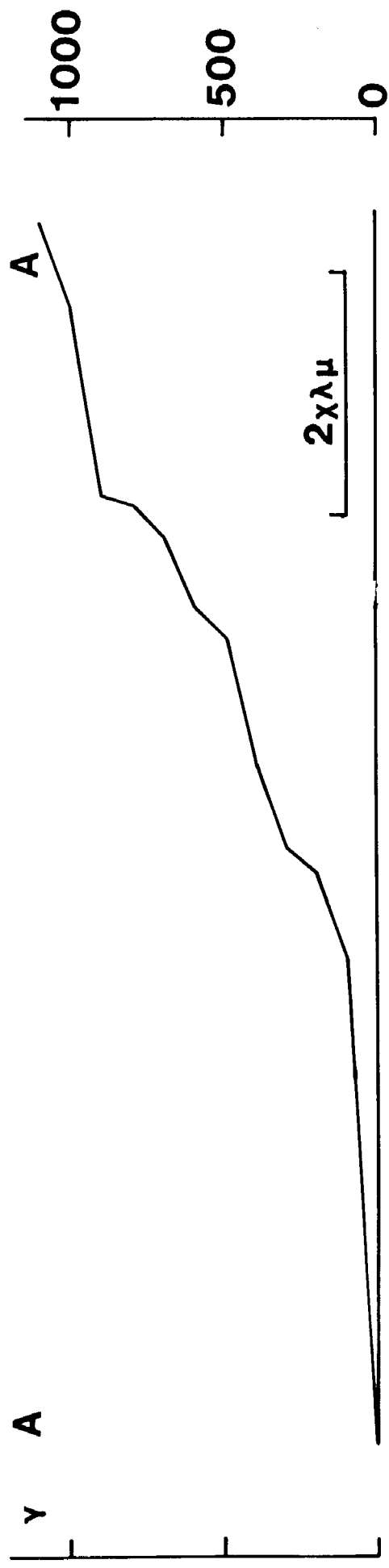
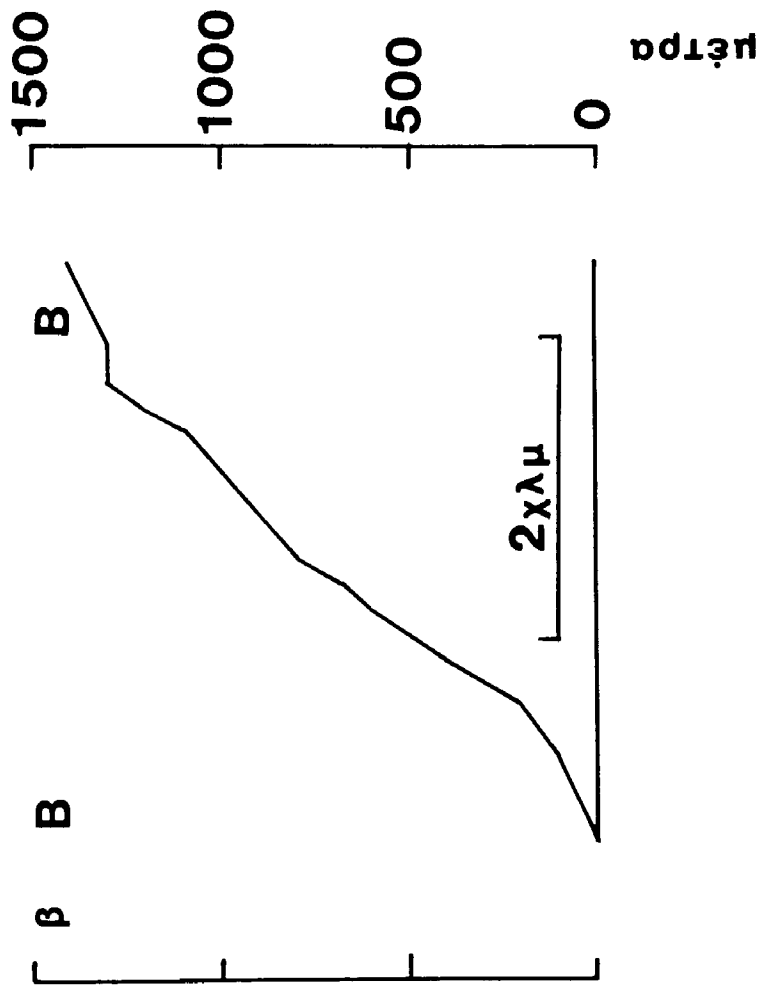
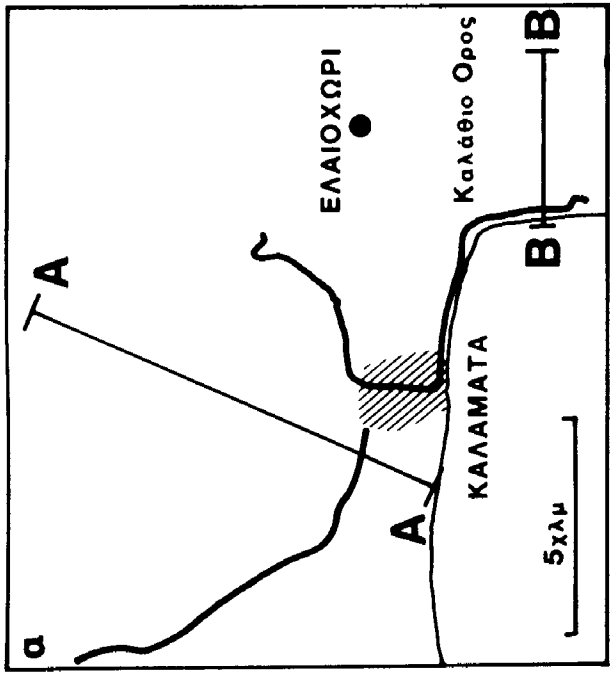


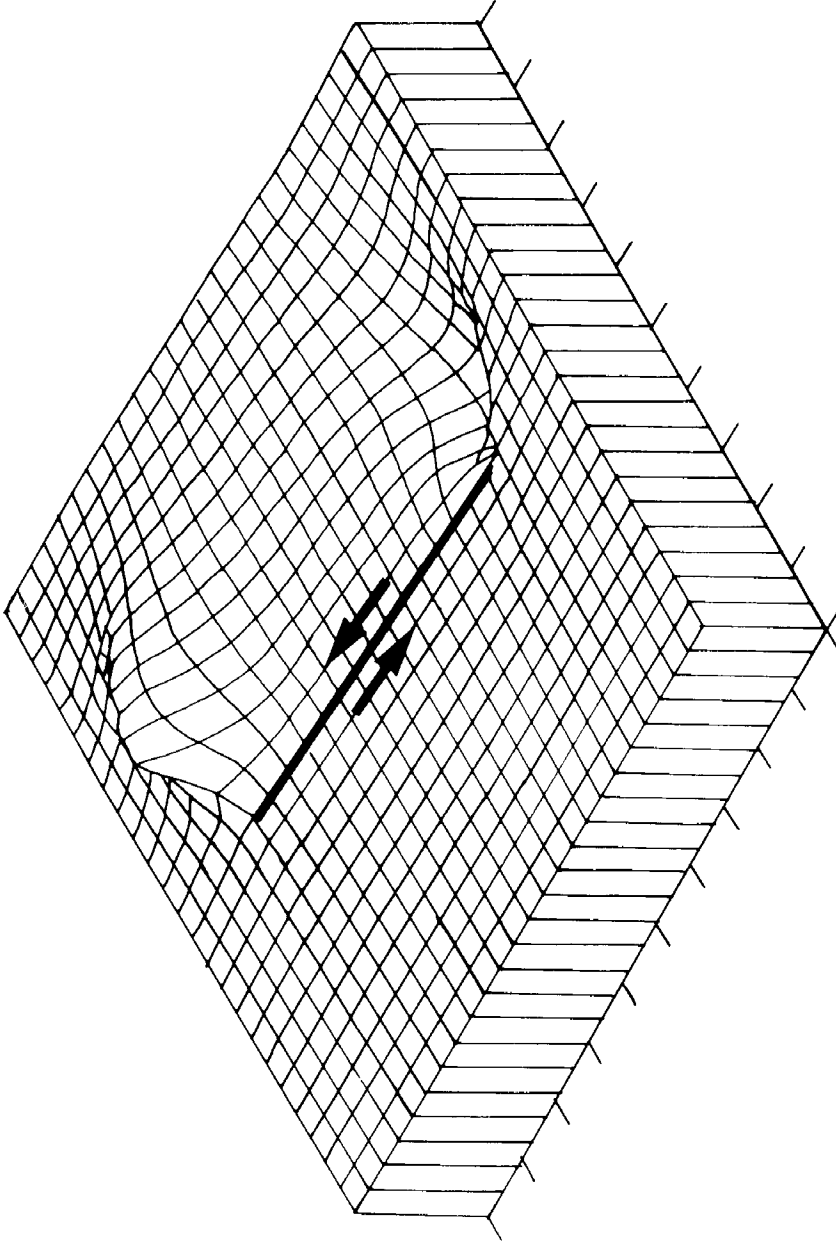
ΑΝΑΓΛΥΦΟ

Σχ 5



Σχ 6





Σx. 8